

## **MANUFACTURE OF SUBMINIATURE STRUCTURE USING PRELIMINARY MOLDED PHOTORESIST SHEET**

**Patent number:** JP7092687

**Publication date:** 1995-04-07

**Inventor:** GUCKEL HENRY; CHRISTENSON TODD R; SKROBIS KENNETH

**Applicant:** WISCONSIN ALUMNI RES FOUND

**Classification:**

- **international:** G03F7/20; G03F7/26; G03F7/30; G03F7/38; H01L21/027

- **european:**

**Application number:** JP19930306784 19931207

**Priority number(s):**

### **Abstract of JP7092687**

**PURPOSE:** To manufacture a subminiature structure like one formed of metal and to provide a photoresist used therefor.

**CONSTITUTION:** This method for forming the subminiature structure consists of a process (a) for preparing the preliminary molded sheet of a photoresist material capable of being made sensitive to a developer by being exposed by radiation, the process (b) for exposing a photoresist sheet by a certain pattern by the radiation for changing the sensitivity to the developer of the photoresist sheet, the process (c) for mechanically removing the photoresist material and lowering the thickness of the sheet to a prescribed thickness and the process (d) for applying the developer to the exposed photoresist and removing a photoresist part sensitive to the developer.

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-92687

(43)公開日 平成7年(1995)4月7日

(51)Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 3 F	7/20	5 2 1	9122-2H	
	7/26	5 1 1	7124-2H	
	7/30		7124-2H	
	7/38	5 1 1	7124-2H	
		7352-4M	H 0 1 L 21/ 30	5 6 9 A

審査請求 未請求 請求項の数46 O L (全 19 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平5-306784

(22)出願日 平成5年(1993)12月7日

(31)優先権主張番号 0 7 / 9 9 4 9 5 2

(32)優先日 1992年12月22日

(33)優先権主張国 米国 (U S)

(31)優先権主張番号 0 8 / 0 6 6 9 8 8

(32)優先日 1993年5月24日

(33)優先権主張国 米国 (U S)

(71)出願人 591013274

ウィスコンシン アラムニ リサーチ フ  
アンデーション

アメリカ合衆国 ウィスコンシン州 マデ  
イソン ウォルナット ストリート 614

(72)発明者 ヘンリー グッケル

アメリカ合衆国 ウィスコンシン州  
53705 マディソン ノース ウィットニ  
ー ウェイ 210

(74)代理人 弁理士 中村 稔 (外7名)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 予備成形フォトレジストシートを使用した超小型構造の製造

(57)【要約】

【目的】 金属で作成されるような超小型構造体の製造法並びにそこにおいて使用するフォトレジストを提供する。

【構成】 (a)放射線で露光することにより現像剤に対して感受性とするのできるフォトレジスト材料の予備成形シートを作成する工程、(b)該フォトレジストシートの現像剤に対する感受性を变化する放射線によって、あるパターンで該フォトレジストシートを露光する工程、(c)該フォトレジストシート材料を機械的に除去して、該シートの厚みを所定の厚みまで低下させる工程、および(d)該露光したフォトレジストに現像剤を適用して、該現像剤に対して感受性のフォトレジスト部分を除去する工程を含む超小型構造の形成方法。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 (a) 放射線で露光することにより現像剤に対して感受性とするのできるフォトレジスト材料の予備成形シートを作成する工程、

(b) 該フォトレジストシートの現像剤に対する感受性を变化する放射線によって、あるパターンで該フォトレジストシートを露光する工程、

(c) 該フォトレジストシート材料を機械的に除去して、該シートの厚みを所定の厚みまで低下させる工程、および

(d) 該露光したフォトレジストに現像剤を適用して、該現像剤に対して感受性のフォトレジスト部分を除去する工程、を含む超小型構造の形成方法。

【請求項2】 基板にメッキ基材として金属の薄層を適用し、該フォトレジストの予備成形シートを該メッキ基材に接着する初期工程を含み、かつ次いで請求項1記載の諸工程全てを経た後、該フォトレジストが除去されている領域内に金属を電気メッキし、次いで残留フォトレジストを除去して、該基板上に電気メッキされた金属構造を残す付随的諸工程を含む請求項1記載の方法。

【請求項3】 該フォトレジストシートが極めて高分子量の線状PMMAである請求項1記載の方法。

【請求項4】 該フォトレジストシート材料が極めて高分子量の線状PMMAであり、かつ該PMMAを溶解する溶媒を含む浴に該フォトレジストを暴露することにより上記残留フォトレジストの除去工程を実施する請求項2記載の方法。

【請求項5】 該フォトレジストをシンクロトロンからのX-線で露光することにより、該フォトレジストをあるパターンで露光する上記工程を実施する請求項3記載の方法。

【請求項6】 該基板表面上に架橋されていないPMMAの薄い初期層をスピン塗布し、該PMMAの初期層を固化し、該初期層にPMMAの予備成形したフォトレジストシートを適用し、かつ液状メチルメタクリレートモノマーを該予備成形シートと該初期層との間の界面に適用して、該予備成形シートと該初期層とを該界面において接着する諸工程を含む請求項1記載の方法。

【請求項7】 該基板に犠牲層を適用し、かつ該予備成形シートと該犠牲層とを接着する初期工程を含み、かつ次いで請求項1記載の諸工程全てを経た後、該フォトレジスト材料に悪影響を与えないリムーバで該犠牲層を除去して、該基板から残留フォトレジストを除去する付随的工程を含む請求項1記載の方法。

【請求項8】 該フォトレジスト材料がPMMAである請求項7記載の方法。

【請求項9】 該犠牲層がチタンおよび部分的にイミド化されたポリイミドからなる群から選ばれる材料製である請求項8記載の方法。

【請求項10】 該フォトレジストを構成するPMMAが極めて

て高い分子量の線状PMMAである請求項8記載の方法。

【請求項11】 該フォトレジストの予備成形シートが少なくとも1mmの厚みを有し、かつ該フォトレジストシート材料を機械的に除去する該工程において、該シートの厚みを1mm未満の厚みまで減ずる請求項1記載の方法。

【請求項12】 (a) 放射線で露光することにより現像剤に対して感受性とするのできるフォトレジスト材料の第一の予備成形シートを作成する工程、

(b) 該フォトレジストシートの現像剤に対する感受性を变化する放射線によって、あるパターンで該フォトレジストシートを露光する工程、

(c) 該フォトレジストシート材料を機械的に除去して、該シートの厚みをフォトレジストの第一層を構成する所定の厚みまで低下させる工程、

(d) 放射線で露光することにより現像剤に対して感受性とするのできるフォトレジスト材料の第二の予備成形シートを作成する工程、

(e) 該第二のフォトレジストシートを該第一のフォトレジストシート層とを接着して、積層体を形成する工程、

(f) 該第二のフォトレジストシート材料を機械的に除去して、該シートの厚みをフォトレジストの第二層を構成する所定の厚みまで低下させる工程、

(g) 該第二のフォトレジスト層の現像剤に対する感受性を变化する放射線のあるパターンで該第一および第二フォトレジスト層を露光する工程、および

(h) 該フォトレジストに対する現像剤を使用して、該現像剤に感受性の該第一および第二層中の該フォトレジストを除去する工程、を含む超小型構造の形成方法。

【請求項13】 該第一のフォトレジストシートをあるパターンの放射線で露光する前に、該フォトレジスト材料の第一の予備成形シートと基板とを接着し、かつ該第一フォトレジストシート材料を機械的に除去する工程を含む請求項12項記載の方法。

【請求項14】 該第一のフォトレジストシートと該基板とを接着する上記工程が、該基板に金属の薄層をメッキ基材として適用し、かつ該フォトレジストの予備成形シートと該メッキ基材とを接着する工程を含み、かつ次いで請求項13に記載の全工程を実施した後に、該フォトレジストが除去されている領域内に金属を電気メッキし、次いで残留フォトレジストを除去して、該基板上に電気メッキされた金属構造を残す付随的諸工程を含む請求項13記載の方法。

【請求項15】 放射線で露光することにより現像剤に対する感受性を変えるのできるフォトレジスト材料の第三の予備成形シートを作成する工程、

該第三フォトレジストシートと、該積層体の該第二の層とを接着する工程、

該第二の層に接着された該第三のフォトレジストシート材料を機械的に除去して、該シートの厚みを該積層体の

第三層を構成する所定の厚みまで減ずる工程、および現像剤に対する該第三のフォトレジスト層の感受性を変化する放射線により、あるパターンで該第三のフォトレジスト層を露光し、次いで該第一、第二および第三層各々中の現像剤に感受性の該フォトレジストを、該フォトレジストに対する現像剤を使用して除去する工程、を含む付随的な諸工程を包含する請求項12記載の方法。

【請求項16】 該第一および第二層中の現像剤に対して感受性の該フォトレジストを除去する上記工程を、該第二層を構成する該第二フォトレジストシートと該第一フォトレジスト層とを接着する前に実施する請求項12記載の方法。

【請求項17】 (a) 放射線で露光することにより現像剤に対して感受性となることができるフォトレジスト材料の第一の予備成形シートを作成する工程、

(b) 該フォトレジストシートの厚み全体ではなく部分的に、該第一のフォトレジストシートの現像剤に対する感受性を変化する放射線によって、あるパターンで該フォトレジストシートを露光する工程、および

(c) 該露光したフォトレジストシートに現像剤を適用して、該現像剤に対して感受性のフォトレジストを除去して、該フォトレジストシートの該露光された側に、完全にではなく部分的に該フォトレジストシートを貫いて伸びた空隙のパターンを残す工程、を含む超小型構造の形成方法。

【請求項18】 該第一のフォトレジストシートのそこに形成された空隙を有する側を、ある材料層に接着して積層体を形成する追加の工程を含む請求項17記載の方法。

【請求項19】 該材料層がフォトレジストであり、かつ該第一の予備成形シートと該材料層とを接着する工程の前に、あるパターンをもち、該フォトレジスト層を現像剤に対して感受性とする放射線で該フォトレジスト層を露光し、該露光したフォトレジスト層に現像剤を適用して該現像剤に対して感受性のフォトレジストを除去し、次いで該フォトレジストの第一の予備成形シートと該層とを接着する追加の工程を含む請求項18記載の方法。

【請求項20】 該フォトレジストの第一の予備成形シートと該材料層とを接着する上記工程の後に、該第一の予備成形フォトレジストシート材料を機械的に除去して、該第一の予備成形シート内に形成された該空隙を十分に露出するように該シートの厚みを減ずる追加の工程を含む請求項18記載の方法。

【請求項21】 該第一の予備成形シート材料を機械的に除去する上記工程の後、放射線で露光することにより現像剤に対して感受性となることができるフォトレジスト材料の第二の予備成形シートを作成し、該第二のフォトレジストシートの厚み全体ではなく部分的に、現像剤に対する該第二のフォトレジストの感受性を変化させるあるパターンの放射線によって該第二のフォトレジストシートを露光し、該露光した第二のフォトレジストシート

に現像剤を適用して、該現像剤に対して感受性の該フォトレジストを除去し、かつ該第二のフォトレジストシートの方の側に該第二のフォトレジストシートの厚み全体ではなく部分的に伸びた空隙を残し、次いで該第二のフォトレジストシートの該空隙を有する側と該第一のフォトレジストシートの表面とを接着する追加の諸工程を含む請求項20記載の方法。

【請求項22】 該第二のフォトレジストシートを該第一のフォトレジストシートに接着した後に、該第二のフォトレジストシート材料を機械的に除去して、該第二のフォトレジストシート内に形成された該空隙を十分に露出するように該シートの厚みを減ずる追加の工程を含む請求項21記載の方法。

【請求項23】 (a) 放射線で露光することにより現像剤に対して感受性となることができるフォトレジスト材料の第一の予備成形シートを作成する工程、

(b) 該フォトレジストシートの厚み全体ではなく部分的に、該第一のフォトレジストシートを現像剤に対して感受性とする放射線によって、あるパターンで該第一のフォトレジストシートを露光する工程、

(c) 該第一のフォトレジストシートの現像剤に対して感受性のフォトレジストを有する側と、該現像剤に対して感受性のパターン領域を有するフォトレジスト層と接着して、積層体を形成する工程、

(d) 該第一の予備成形フォトレジストシート材料を機械的に除去して、該現像剤による除去に対して感受性の該第一の予備成形シートの領域を露出させるように該シートの厚みを減じる工程、および

(e) 該積層体に現像剤を適用して、該現像剤に対して感受性のフォトレジストを除去し、該第一のフォトレジストシートおよび該下層のフォトレジスト層中に空隙のパターンを残す工程、を含む超小型構造の形成方法。

【請求項24】 該第一のフォトレジストシートと該フォトレジスト層とを接着する工程の前に、フォトレジスト材料の予備成形シートから該フォトレジスト層を形成し、ここで該フォトレジスト材料の予備成形シートは放射線で露光することによりその厚み全体ではなく部分的に現像剤に対して感受性となることができ、該シートの該露光された側とは反対の側から該フォトレジストシート材料を機械的に除去して、該シートの該現像剤に対して感受性の領域を十分に露出するように該シートの厚みを減じて該フォトレジスト層を形成し、かつその後該第一の予備成形フォトレジストシートと該フォトレジスト層とを接着する追加の工程を含む請求項23記載の方法。

【請求項25】 該フォトレジスト層を形成する該予備成形フォトレジストシート材料を機械的に除去する上記工程の前に、該予備成形フォトレジストシートの該露光された側と基板とを接着し、次いで該予備成形フォトレジストシート材料を機械的に除去する請求項24記載の方

法。

【請求項26】 (a) PMMAフォトレジスト材料の第一の予備成形シートを作成する工程、

(b) あるパターンで、該第一のフォトレジストシートをX-線で露光して、該フォトレジストシートの露光された領域を現像剤に対して感受性とする工程、

(c) 該第一のフォトレジストシート材料を機械的に除去して、該シートの厚みを所定の厚みまで減じる工程、および

(d) 該第一フォトレジストシートに現像剤を適用して、  
10 該現像剤に感受性の該露光されたフォトレジストを除去する工程、を含む超小型構造を形成する方法。

【請求項27】 基板にメッキ基材として金属の薄層を適用し、該フォトレジストの第一予備成形シートを該メッキ基材に接着する初期工程を含み、次いで請求項26記載の諸工程全てを実施した後、該フォトレジストが除去されている領域内に金属を電気メッキし、次に残留フォトレジストを除去して、該基板上に電気メッキされた金属構造を残す付随的諸工程を含む請求項26記載の方法。

【請求項28】 該第一のフォトレジストシート材料が極  
20 めて高い分子量の線状PMMAであり、かつ該PMMAを溶解する溶媒を含む浴に該フォトレジストを暴露することによって上記の残留フォトレジスト除去工程を実施する請求項26記載の方法。

【請求項29】 該PMMAを溶解するのに使用する溶媒が塩化メチレンである請求項28記載の方法。

【請求項30】 該基板表面上に架橋されていないPMMAの薄い初期層をスピン塗布し、該PMMAの初期層を固化し、該初期層にPMMAの第一の予備成形シートを適用し、かつ液状メチルメタクリレートモノマーを該予備成形シート  
30 と該初期層との間の界面に適用して、該予備成形シートと該初期層とを該界面において接着する諸工程を含む請求項26記載の方法。

【請求項31】 該フォトレジストの第一の予備成形シートが少なくとも1mmの厚みを有し、かつ該フォトレジストシート材料を機械的に除去する上記工程において、該シートの厚みを1mm未満の厚みにまで減ずる請求項26記載の方法。

【請求項32】 (a) PMMAフォトレジスト材料の第二の予備成形シートを作成する工程、

(b) 該第二のフォトレジストシートと該第一のフォトレジストシートとを接着して、積層体を形成する工程、

(c) 該第二のフォトレジストシートを機械的に除去して、該第二のシートの厚みを所定の厚みにまで減ずる工程、

(d) 該第二のフォトレジストシートをあるパターンのX-線で露光して、該第二のフォトレジストシートの該露光領域を現像剤に対して感受性とする工程、および

(e) 該フォトレジスト用の現像剤を使用して、該第二の  
50 フォトレジストシート中の該露光されたフォトレジスト

を除去する工程、を更に含む請求項26記載の方法。

【請求項33】 該第一のフォトレジストシートを放射線のパターンで露光する工程および該第一のフォトレジストシート材料を機械的に除去する工程に先立って、該第一の予備成形フォトレジストシートと基板とを接着する工程を含む請求項32記載の方法。

【請求項34】 該第一のフォトレジストシートを該基板に接着する上記工程が、該基板に金属の薄層をメッキ基材として適用し、かつ該フォトレジストの予備成形シートを該メッキ基材層に接着する工程を含み、かつ次に請求項33に記載の全工程を実施した後、該フォトレジストが除去されている領域に金属を電気メッキし、次いで残留フォトレジストを除去して、該基板上に該電気メッキした金属構造を残す追加の工程を含む請求項33記載の方法。

【請求項35】 該第一および第二フォトレジストシート中の該露光されたフォトレジストを現像剤で除去する上記工程を、該第二フォトレジストシートを該第一フォトレジストシートに接着する前に実施する請求項33記載の方法。

【請求項36】 該第二フォトレジストシートを該第一フォトレジストシートに接着する上記工程を、該第二のフォトレジストシートをX-線のあるパターンで露光する工程および該露光したフォトレジストを除去する工程後に実施する請求項33記載の方法。

【請求項37】 該第二フォトレジストシートを該第一フォトレジストシートに接着する上記工程を、該第一のフォトレジストシートに現像剤を適用する工程に先立って実施する請求項33記載の方法。

【請求項38】 該第二フォトレジストシートと該第一のフォトレジストシートとを、これらシート間の界面をメチルメタクリレートで湿潤することにより接着する請求項33記載の方法。

【請求項39】 各シート的一方の側において一緒に接着されたフォトレジスト材料の2種の予備成形シートを含み、該各フォトレジストシートの他方のシートに接着された側が該シートを完全にではなく部分的に貫いて伸びた空隙のパターンをその内部に有し、該フォトレジストの各シートの厚みが約3mm以下であるマイクロメカニカル構造を内部に含む積層体。

【請求項40】 更に、基板を含み、該基板が該2種のフォトレジストシート的一方に接着された表面をもつ請求項39記載の積層体。

【請求項41】 該フォトレジストシート材料がPMMAである請求項39記載の積層体。

【請求項42】 上面と下面とを有し、該上面および下面の少なくとも一方が機械的にロール掛けされており、該上面と下面との間の厚みが約1mm未満であるPMMA製の独立した本体を含み、該本体は実質的に内部応力をもたない予備成形したPMMAから作成され、かつ該本体の側壁は

該本体の該上面および下面に対して実質的に垂直であることを特徴とするマイクロメカニカル構造体。

【請求項43】 表面をもつ基板と、  
該基板の表面上の低分子量PMMA製の薄層と、  
厚み約3mm未満で、該低分子量PMMA製の層に溶媒の作用で結合されるPMMAの予備成形シートと、を含む積層構造体。

【請求項44】 該低分子量PMMA製の層が5μm未満の厚みを有する請求項43記載の積層構造体。

【請求項45】 該低分子量層が496 Kの範囲の分子量を有する請求項43記載の積層構造体。

【請求項46】 基板上に低分子量PMMAの薄層をスピン塗布し、該層を硬化する工程、  
該低分子量PMMA層をMMAモノマーで湿潤する工程、および該湿潤した層にPMMAの予備成形シートを適用して、該予備成形シートを該湿潤した層に接着し、かつ該基板に接着する工程、を含む積層構造体の製造法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、一般的には半導体およびマイクロメカニカルデバイス並びにその加工技術に関連し、より詳細には金属で作成されるような超小型構造体の製造において使用するフォトリソトに関するものである。

【0002】

【技術的背景】 ディープ(Deep)X-線リトグラフィーは厚い、典型的には厚み数百ミクロンのマスクを介してX-線で露光されるフォトリソトで覆われた基板を含む。X-線フォトン光学的光子よりも一層高いエネルギーをもつものであり、これは厚いフォトリソトフィルムに完全な露光を実施並びに実行可能とする。更に、X-線フォトン短波長粒子であるので、デバイスの寸法を典型的に露光放射線の2〜3波長に制限する回折効果は、0.1μmを越える寸法のマスクについては見られない。このことと共に、X-線フォトンが原子過程により吸収されるという事実を考慮した場合には、光学的手段による厚いフォトリソトの露光をかなり制限する未解決の波長に係わる問題がX-線露光については問題とはならない。X-線源としてシンクロトロンを使用すると、数ワット/cm<sup>2</sup>程度の光束密度と良好な視準とが得られ、結果として水平方向の逃げなしに厚いフォトリソトの露光をもたらす。従って、局所的に露光したパターンは、露光されたおよび未露光のフォトリソト間の極めて高い選択性をもつ現像系が利用できる場合には垂直なフォトリソト壁を生成するはずである。この要件は該X-線フォトリソトとしてのポリメチルメタクリレート(PMMA)および水性現像系を使用することにより満たされている。H. グッケル(Guckel)等の「マイクロメカニクスのためのディープX-線およびUVリトグラフィー(Deep X-ray and UV Lithographies for Micromechanics),テクニカルダイ

ジェスト(Technical Digest), ソリッドステートセンサー&アクチュエータワークショップ(Solid State Sensor and Actuator Workshop), ヒルトンヘッド(Hilton Head), S.C., 6月4〜7日, 1990, pp. 118-122を参照のこと。

【0003】 ディープX-線リトグラフィーを電気メッキ法と組み合わせて、高アスペクト比の構造体を形成できる。そのためには、フォトリソトを適用する前に該基板に適切なメッキ基材を供給する必要がある。通常、この適用されたメッキ基材は接着性金属、例えばクロムまたはチタンのスパッタフィルムを含み、引き続きメッキすべき該金属を電気メッキするのに適した金属の薄層が適用される。適当な場合においては、接着性金属の初期層の使用は不要である。この電気メッキ後に、適当なマスクを介する露光および現像を行う。この方法は、清浄化後に極めて高いアスペクト比をもつ十分に接着された金属構造体を与える。かかる構造体は西独カールスルーエ(Karlsruhe)のザインスティチュートフォーヌクレアーフィジックス(the Institute for Nuclear Physics)(KFK)のW. エアフェルド(Ehrfeld)およびその共同研究者等により報告されている。エアフェルドは、リトグラフィーおよび電気メッキに関するドイツ語の最初の手紙に基づいて、この方法を「LIGA」と命名した。このLIGA法の一般的な説明はW. エアフェルド等の文献、「LIGA法: X-線リトグラフィーによるセンサー構築技術(LIGA Process: Sensor Construction Techniques Via X-ray Lithography)」、テクニカルダイジェスト(Technical Digest), IEEEソリッドステートセンサー&アクチュエータワークショップ(IEEE Solid State Sensor and Actuator Workshop), 1988, PP. 1-4に与えられている。

【0004】 超小型デバイス、例えば該LIGA法により作成されたデバイスの製造における一つの決定的な因子は利用されるフォトリソトである。既に述べた如く、PMMAがLIGA構造体を形成するためのフォトリソトとして首尾よく利用されている。このPMMAフィルムは液状MMAを直接基板上で注型することにより製造され、該フィルムは注型ジグによって所定の厚み、一般的には200-300μm以下に減じられる。次いで、この注型フィルムを、典型的には硬化の際に架橋を生ずる該注型溶液中に重合剤または開始剤と架橋剤とを使用して固化される。このようにして形成されたPMMAフィルムには幾つかの欠点並びに制限がある。この注型法は特殊な機器および取付け具を必要とし、これらは該方法の所要時間を増大し、かつ該方法をコスト高とする。殆ど全ての注型操作に見られるように、該固化したフィルムを生成するのにヒートサイクルが必要である。典型的には、110°Cまでのアニールサイクルが必要とされる。これらのヒートサイクルは、該PMMAフォトリソトと該基板との間の熱膨張係数における大きな差異により、該フィルム内に歪を生じ

せる。このフォトレジスト中の内部歪は、同様に硬化中の該フィルムの収縮によっても生じ、これは該フィルムの注型されたままの状態から20%までの該フィルムの収縮をもたらすことが観測されている。結果として、該注型フィルムはその硬化後に、しばしば該基板に対する貧弱な接着性を呈し、しかも該基板を座屈させる可能性がある。該基板に対する接着性が維持されている場合においてさえ、該フィルム内に生じる内部歪は、該フォトレジストのパターン化後にX-線露光および現像により該フィルム内に形成される壁の変形を生ずる恐れがある。

【0005】PMMAフォトレジストフィルムを、典型的には該注型溶液に架橋剤を添加することにより架橋して、該フィルムのクレージングを最小化する。この架橋のために、追加のX-線露光工程、該フォトレジストフィルム全体のブランケット露光および該レジストの使用が完了した場合に引き続き行われる該レジストを除去するための該フィルムの現像工程を含む必要がある。架橋剤を使用した場合でさえ、首尾よく注型し、露光し、かつ現像されたレジストの最大の厚みは約300  $\mu$ の範囲にあった。200  $\mu$ を超える厚みを有するPMMAフォトレジストフィルム<sup>10</sup>の多くの試料は許容し得ない程度のクレージングおよび接着性の喪失を示す。典型的には、この注型したPMMAフィルムは、該LIGA法の電気メッキ工程中に該フィルム中のパターン化された開口内に金属をマイクロプレーティング(micropating)した後に該フィルムが著しいクレージングを呈することから、かつ一時的に使用されたに過ぎない。マイクロメカニカル加工で利用されるフォトレジストの厚みは、典型的には数百ミクロン以下であり、これは典型的な予備成形されたフォトレジストシート<sup>20</sup>の厚みよりも小さい。エーアフェルドおよびその共同研究者等は、予備成形したPMMAフォトレジストシートを基板に接着する試みを報告し、そこでは該フォトレジストを該基板に接着する前にカレンダー掛けすることにより、該LIGA法を実施するのに望ましい厚みにまで該シートの厚みを減じている。しかし、見掛け上該カレンダー掛けしたフォトレジスト内の歪場が過度であったことから、このような試みは不都合であることが報告された。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、一般的には新規な半導体およびマイクロメカニカルデバイス並びにその加工技術を提供することであり、より詳細には金属で作成されるような超小型構造体の製造法並びにそこにおいて使用するフォトレジストを提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、フォトレジスト内に本質的に零もしくは極めて小さな歪のみが生成されるように、更に加工する前に基板に接着することのできる予備成形したシートを含むフォトレジストを<sup>50</sup>

使用することにより、超小型構造体の製造が簡単化される。該予備成形したシートは、これが該基板に接着された場合に該シートを有利に取り扱うことを可能とする公知の厚みを有するものであり、該シートの厚みは、マイクロミルによる研磨等によって該シートの一部を機械的除去し、かくして超小型構造体の形成に望ましい厚みにまで減じられる。好ましいフォトレジストシートは実質的に架橋されていない線状ポリメチルメタクリレートから生成され、該線状ポリマーは極めて高い平均分子量を有し、かつ本質的に歪をもたないものである。該フォトレジストシートを所定の厚みにまで減じる前またはその後の何れかにおいて、該フォトレジストをマスクを介して放射線で露光することによりパターン化して、該露光されたフォトレジスト材料を現像剤に対して感受性のものとすることができる。使用したフォトレジストに依存して、該放射線はX-放射線、例えばシンクロトロンからのX-線、あるいは適当な場合にはディープUV光であり得る。該フォトレジストの該露光された部分（またはフォトレジストの型に応じて、未露光部分）を、次いで適当な現像剤で除去することができる。

【0008】本発明を利用して、電気メッキした超小型構造体の形成を実施するためには、該フォトレジストを適用する前に基板にメッキ基材(plating base)を適用する。未露光のフォトレジストを、次に該メッキ基材に接着し、次いで該フォトレジストを露光する。次に、該露光された部分を現像剤を使用して除去し、次いで該露出したメッキ基材上に金属を電気メッキして、該フォトレジスト中の空隙により画成される領域を満たす。次に、残留するフォトレジストを除去することができる。該フォトレジストが架橋されていないPMMAから形成されている場合には、その除去は該架橋されていないPMMAを溶解する溶媒を使用して実施できる。架橋したPMMAシートを使用した場合には、該フォトレジストを除去する前に、シンクロトロンからのX-線による追加のブランケット露光が必要とされる。好ましい架橋されていないPMMAフォトレジストシートを使用することにより、この追加の露光工程を排除でき、これによりブランケット露光を必要とする手順に比して大幅な時間および経費の節減が可能となる。基板上に形成された既存の構造上に該フォトレジストを適用する場合、比較的薄い公知のフォトレジスト、例えばPMMAの被膜を該基板上にスピン塗布して、該構造体を被覆することができる。次いで、このフォトレジストシートを該スピン塗布したフォトレジストの上部に配置し、これら両者間の界面をモノマーで湿潤させる。例えば、該フォトレジストシート材料として高分子量のPMMAを使用した場合には、溶媒に溶解した低分子量のPMMAを該基板上にスピン塗布して、該メカニカル構造体を被覆し、該モノマー即ち液状メチルメタクリレート<sup>50</sup>を次にこれら両者間の界面に適用して、該界面において該材料を溶媒により結合する。該予備成形したフォトレ

11

ジストシートは、一般的に該スピン塗布したフォトレジストよりもかなり厚く、該厚みは該既存の構造体を被覆するのに十分な厚みであることのみが要求され、典型的には高さ数ミクロンまたは数十ミクロンである。

【0009】予備成形したフォトレジスト層と該基板との接着および所定の厚みにまで該フォトレジストシートを機械的に研磨する工程は、該機械的研磨工程の利用により正確に制御できる任意の所定の厚みのフォトレジストを与える。該フォトレジストシートと該基板との良好な接着が達成され、しかも該フォトレジストの内部歪は極めて低い。結局、公知のフォトレジスト材料を使用して、該フォトレジストの露光工程および現像剤による該露光されたレジストの除去工程中における該フォトレジストの壁の実質的な変形を生ずることなしに、従来可能であったよりもかなり厚いフォトレジスト構造体を形成できる。公知の注型PMMAフォトレジスト層において観測されるよりも、かなり低いクレーシングおよび他の欠陥を呈する限りにおいて、本発明のフォトレジストは1以上の電着工程中に利用することができる。本発明は、更に該基板から剥離し得るフォトレジスト構造体を形成するのにも使用できる。架橋されたもしくは架橋されていない、この歪をもたないフォトレジストシート、例えばPMMAシートを基板上の剥離層上に接着する。このフォトレジストシートをパターン化した後、該剥離層をリムーバにより除去することができ、該リムーバは残りのフォトレジストに実質的に影響を与えることなしに、該剥離層をエッチングまたは溶解する。このフォトレジストシートは歪をもたないので、該基板から剥離される該フォトレジスト部分は寸法安定性をもち、かつ変形したり、カールしたりすることはない。

【0010】本発明はまた、パターン化したフォトレジストの多重層を構築することを可能とし、この多重層は基板に適用することができ、あるいは独立した製品として利用することを可能とする。このような多層構造体は、三次元全てにおいて変えられる種々の形状をもつことのできる金属構造体の電着による形成を可能とする。例えば、該金属構造体はより幅の広い、あるいは下方部分から上方に伸びた、かつ該構造体の上部から底部への幾何における幾つかの変化を示すような上部部分を有するように形成できる。かかる多層フォトレジスト構造体は本発明に従って種々の方法で形成できる。例示的な多層形成法においては、フォトレジストの第二層を、第一のフォトレジスト層を露光した後において、かつこれを現像する前に、該第一層の上部表面に結合する。次いで、該第二層を所定の厚みまで研磨し、該第二層のX-線による露光を行う。次に、この露光したフォトレジストを現像（除去）し、該露光されたフォトレジストにより空にされた空隙中に金属構造を電着することができる。2層以上を含む構造体はこのようにして作成できる。一般的に、この方法を利用する場合には、該第二の層（ま

12

たはそれ以下の層）の露光部は該第一層（または下部の全ての層）中の該露光された領域内にあるか、あるいは該入射X-線がフォトレジストの全層に完全に侵入し、かつ露光するのに十分な強度である必要がある。

【0011】もう一つの例示的な多層形成法においては、基板に接着されない予備成形したフォトレジスト（例えば、線状または架橋されたPMMA）の層の一方の側を露光する。このフォトレジストシートはかなり厚い、例えば1mm〜3mmの厚みのものであり得、この場合該入射X-線は、該フォトレジストシートをその全体に渡る完全な露光を可能とするように、全露光領域の該フォトレジストの十分な露光を生ずるものである必要はない。次いで、該露光したフォトレジストを現像剤で現像して、これを除去し、更に該予備成形シートを基板の露光されかつ現像された側に結合することができる。該フォトレジストの自由な側を、次に所定の厚みまで研磨する。該所定の厚みはX-線で露光した領域全てが、該フォトレジストによって完全に除去され、その中に空隙のパターンを残すのに十分に露出されるレベルよりも小さい。これは、初期単一構造を与え、該構造は先ず基板にフォトレジストを結合し、次いで所定の厚みまで研磨し、更にX-線で露光し、該露光したフォトレジストを現像することにより形成される構造と等価である。しかしながら、多重フォトレジスト層は、フォトレジストの自由なシート（即ち、基板に結合されていないシート）をこのように処理することにより形成でき、該初期層はこのようにして形成されるか、あるいは該基板に接着された後に形成される。例えば、フォトレジストの第二のシートの方の側を所定のパターンでX-線で露光し、該露光したフォトレジストを現像して、これを除去し、次いで露出された該フォトレジストの表面を該第一層の自由表面に結合することができ、該第二層の自由表面は研磨され、該第二層の厚みが所定のレベル以下に減じられる。該所定の厚みは、該露光されたフォトレジストが現像され、かつ十分に除去されて、空隙のパターンを残した際のレベルである。第三のおよび追加の層を同様な方法で形成できる。

【0012】また、この予備成形したフォトレジストシートの方の側、および基板（あるいは前に塗布されたフォトレジスト層）に結合された第一の層の、X-線で露光しかつ該露光したフォトレジストを現像してない表面を露光することができる。次いで、このシートを研磨して、該露光したフォトレジストが該現像剤により十分に除去されるであろうレベル以下にまで厚みを薄くする。次に、このフォトレジストを即座に除去することができる。しかしながら、必ずしもこの即座の除去を実施する必要はなく、第二の予備成形したフォトレジストシートを同様に処理し、部分的にX-線で一方の側を露光し、該露光した側を該前の層と結合し、次いで該第二の層を研磨して、X-線で露光した該フォトレジストの全領



域が十分に露出して、十分に現像されるであろうような厚みにまでその厚みを減ずることができる。所定の数の層を作成したら、該積層構造体全体を液状フォトレジスト現像剤で現像して、該露光されたフォトレジスト全体を除去することができる。この方法においては、該現像剤が該露光されたフォトレジスト全体を除去すべく該層全体に渡り作用し得るように、各層における該フォトレジストの露光された領域が相互に重なりあっていることが必要とされる。また、該露光領域は該積層体の側端部において該現像剤が到達可能である必要がある。

【0013】上記方法の何れにおいても、該基板は金属基板である必要はない。例えば、該基板は厚いフォトレジストシート、あるいは種々の他の材料例えば半導体ウエハ（その上に電子回路があってもなくてもよい）等を含むことができる。また、この厚い初期フォトレジストシートを予め加工して、現像された構造または未現像のX線露光領域を含むようにしてもよい。次いで、付随的なフォトレジスト層を該第一の層に結合し、引き続き研磨して積層体を形成し、該種々の層はこれらを一緒に結合した後またはその前に現像される。基板として機能する該厚い初期フォトレジストシートを、次いでその露光された側において研磨して、該シート中の該現像されたフォトレジストまたは完全に現像された構造体を露出するような所定の厚みにまで減じる。次に、この多層積層体全体を電着用の金属基板に結合でき、あるいは該積層体自体を構造要素として使用できる。例えば、該未現像のフォトレジスト構造体は所定の三次元形状で形成し、これを種々の目的、例えば鋳型または構造要素として利用できる。多層積層体は、例えば液体またはガス用の導管または電導路として使用できる多数のチャンネルを含むことができる。このフォトレジストシートまたは積層体を超小型回路を担持する半導体（例えば、単結晶シリコン）基板に応用する場合、該シートまたは積層体は該基板に接着する前に、上記の如く十分に露光し、かつ必要ならば現像することができる。このように、該基板上の超小型回路を損傷する恐れのある基板上にフォトレジストが存在する場合には、該フォトレジストには放射線を照射すべきではない。本発明の他の目的、特徴並びに利点は、添付図を参照しつつ以下の記載を勘案することにより明らかとなろう。

【0014】本発明は、LIGA法およびその拡張法において実施されているような超小型構造体の製造において利用できる。マイクロメカニカル金属構造体の製造を実施するための方法の例は、犠牲金属層を使用した多重レベルディープX線リソグラフィによる超小型構造体の形成(Formation of Microstructures by Multiple Level Deep X-ray Lithography With Sacrificial Metal Layers)と題する米国特許第5,190,637号に記載されている。本発明は、またパターン化されたフォトレジストの形成のためにも利用でき、該パターン化されたフォトレ

ジストは他の用途、例えば該フォトレジストが金属の電着のための鋳型を与えることとは無関係の目的に直接利用されるような場合に使用できる。この方法は基板に接着した後に内部歪を実質的に示さず、該基板に良好に接着され、かつ一般的に実質上追加の加工を実施することなく該基板から容易に除去できる、厚いフォトレジスト構造の形成を可能とし、1,000  $\mu$ mまでの厚みのフォトレジストが容易に形成できる。フィルムを基板上で直接注型でき、その際の厚みは、該フィルムの保全性を損ない、該基板に対する接着性の低下の可能性を高め、かつ該フィルムのクレージングに導く不可避的な内部歪を生ずる厚みに匹敵する。本発明は、また以下に記載するように多層構造体の一部としてスピン塗布したフィルム製の比較的薄い層および2種以上の予備成形フォトレジストシートから作成した多層構造体においても利用できる。該スピン塗布したフィルムの厚みは、典型的には5  $\mu$ m以下である。

【0015】本発明においては、予備成形フォトレジストシート、好ましくは線状の（架橋されていない）、高分子量（ $>2,000,000$ ）をもつポリメチルメタクリレート（PMMA）から形成したシートを基板に接着することができ、該接着は該予備成形シートを該基板に内部歪を導入することなしに該基板に堅固に結合するようにパターン化する前またはその後に実施される。この予備成形シートは市販品として入手でき、一般的にはその自由な形状において内部歪を殆どまたは全くもたない。本明細書で使用するような歪をもたない予備成形フォトレジストは、該フォトレジストの一部が露光され、かつ除去された後、あるいは残留するフォトレジストを該基板から剥離する際に、機械的に歪を受けることは実質上ない。この予備成形シートを、適当な接着剤を使用して、該選択された基板表面上に接着する。本発明においては、予備成形したPMMAシートと共に使用する好ましい接着剤層は、比較的薄いスピン塗布したPMMAフィルムであり、該フィルムは公知の様式で該基板に適用され、かつ硬化されて、該基板に対する強力な結合を形成する。PMMAの該初期スピン塗布フィルムは比較的薄い（1  $\mu$ m～5  $\mu$ mまたはそれ以下）ので、該初期スピン塗布フィルムは接着の問題、内部歪の問題および一般的にはLIGA法において利用されているより厚い（25  $\mu$ m～200  $\mu$ m）フィルムに関連する問題であるクレージングの問題を生じない。該初期PMMAフィルム層は該予備成形PMMAシートにより覆われ、かつ比較的薄いであろうから、該初期PMMA層は電着工程中にクレージングの問題を生じず、かつこれに架橋剤を添加して該フィルムの保全性を維持する必要がない。結局、高分子量PMMAの架橋されていない予備成形PMMAシートを使用することにより、パターン化および金属の堆積を実施した後に、該フォトレジストフィルムを形成した基板全表面をX線またはUVでブランケット露光する必要性なしに、適当な溶媒を使用することによ

り、該フォトレジスト全体を容易に除去することができる。

【0016】これにより、従来LIGA加工において必須の工程であった時間の掛かるかつ比較的経費のかさむ最終工程を排除することができる。該予備成形したPMMAシートと該初期PMMA層との間の接着は、メチルメタクリレート(MMA)モノマー液体を該予備成形シートと該初期層との間に塗布することにより容易に達成できる。該モノマーは毛管作用により該2種の層間の界面を介して吸上され、該予備成形シートと該初期層との間に結合を形成し、十分な時間の経過後に該予備成形シートを介する拡散により放出される。該基板に接着された該予備成形シートを、研磨等、例えば市販品として入手可能なマイクロミル装置を使用して機械的に加工して、該層を厚みを該基板表面上での正確な高さにまで減ずる。このフォトレジストを適用し、かつ所定の厚みまで研磨した後、これを公知の方法、例えばシンクロトロンからのX線とX線マスクとを使用してパターン化して、現像液による該フォトレジスト領域の除去を容易にすることができる。高分子量の線状PMMAは公知の現像剤に対して良好な選択性を示すので、該未露光のPMMAは実質上該現像剤による影響を受けず、一方で放射線で露光することにより分子鎖が切断された結果として実質的に短い長さをもつPMMA分子からなる該露光されたPMMAは該現像剤に容易に溶解する。

【0017】この方法は、更に比較的薄い超小型構造が既に形成されている基板上に追加の超小型構造を形成するように拡張できる。この基本的方法および該拡張された方法は、何れも図1～図9との関連で説明できる。図1を参照すると、基板11、例えば単結晶シリコン、ガラス、石英等は、その上に予め形成された超小型構造12をもつことができる。これらの超小型構造は、典型的には厚さ数 $\mu\text{m}$ (例えば、2.5 $\mu\text{m}$ )の範囲内にある。典型的なLIGA加工法においては、金属メッキ基材13を該基板11の上部表面上に形成して、該構造12に対するベースを与え、該構造12は該メッキ基材13上に電気メッキにより堆積する。図2に示されたように、次工程では液状の線状PMMA、例えば分子量496KのPMMAの層をスピン塗布して、該基板11の表面上(メッキ基材13上)および該超小型構造12上の層15として形成する。図3に示した如く、線状PMMAの予備成形したフォトレジストシート17をPMMAのスピン塗布した該層15の上部に配置する。該層15と該予備成形シート17との間の露出した界面を次にモノマー(この場合にはMMA)で湿潤させ、かつ該シート17を適当な方法、例えばアルミニウム箔20の片、スチールウールの層21および荷重22を使用して該層15に押し付けて、制御され均等に分配された圧力を該予備成形したシート17に印加する。適当な期間の経過後、重り21および22並びに該箔20を取り除き、該モノマーを該予備成形したシート17全体に拡散させる。その後、該基板をマイクロミルに入

れ、該層17を研磨して、その厚みを該基板11の上部表面上の選択された高さの所定の厚みにまで減じる。

【0018】図6を参照すると、該シート17および該層15が、所定のパターンをもつX線吸収剤26を上部に有するX線マスク25を介してX線24により或るパターンに露光される。X線または適当な場合にはUV放射線は、該マスクを通過して該フォトレジスト層17および下層15内の領域27に入射する。これらの領域27では、その中の該高分子量物質の鎖の切断が生じ、かくして該領域は現像剤で除去することが可能となる。かくして得られる構造を図7に示したが、ここで該露光領域は現像剤で除去され、該層17中には開口29が残され、該開口の幾つかは該基板11の表面上の該メッキ基材13まで貫通しており、また該開口の他のものは該基板上に形成されたものと超小型構造12の全部または一部を露出している。図8に示した如く、次に金属を公知の方法で該開口29中に電気メッキして、該元の金属構造12に加えて該基板上に金属構造30を形成する。最終工程は残留するフォトレジストの全て、即ち該初期PMMA層15並びに該予備成形シート17の残部両者を除去して、該基板11の表面上に自由状態の金属構造12および30を残す。この自由状態の構造30は非常に高いものであり得る。というのは、これらは該研磨したフォトレジストシート17の厚みと同程度の高さであってもかまわないからである。例示的構造は高さ200 $\mu\text{m}$ ～300 $\mu\text{m}$ もしくはそれ以上として形成でき、即ち公知のLIGA加工技術では容易に達成し得なかった厚みで構造を形成することができる。

【0019】50 $\mu\text{m}$ ～1000 $\mu\text{m}$ またはそれ以上のX線感受性予備成形フォトレジスト層を様々な基板上に調製できる。本発明は一旦該レジストが付着されてしまえば、加熱サイクルを全く必要としないので、該厚いレジスト層と該基板との間の熱膨脹に関連する不適合の問題を無視できる。かくして得られたレジスト層は極めて良好な接着性と、極めて低い内部歪とを有する。本発明による例示的な加工手順を以下に説明する。これらの手順は以下の物質、即ちブリューワーサイエンス社(Brewer Science, Inc.)(P.O. ボックスGG, ローラ(Rolla), MO 65401)から入手できる接着促進剤APX-K1、オリンハント(OLIHUNT)/OCG, 3ギャレットマウンテンプラザ(Garret Mountain Plaza), ウェストバタースン, NJ 07424から入手可能な、クロロベンゼンに溶解した(9重量%)分子量496,000をもつポリメチルメタクリレートを含む液状フォトレジスト、即ち496KPMMAフォトレジスト、スイート(Suite)140, 301リンデンウッドドライブ(Lindenwood Drive), マルバーン(Malvern), PA 19355-1758のグッドフェロー社(Goodfellow)から入手可能であり、2,000,000を越える重量平均分子量( $M_w/M_n$ 約2～3)をもち、殆ど架橋されていないポリメチルメタクリレートを含む予備成形ポリメチルメタクリレートシート、および1001ウェストセントポールアベニュー(West Saint Pa

ul Avenue)、ミルウォーキー(Milwaukee), WI 53233 のアルドリッチケミカル社(Aldrich Chemical Company Inc.) から入手可能なメチルメタクリレートモノマーを使用する。

【0020】

【実施例】

平滑な金属化表面上に厚いPMMAレジスト層を形成するための手順

最初の工程は、マイクロメカニカル構造を形成するための基板の調製を包含する。典型的な基板は約1  $\mu$ mのSiO<sub>2</sub>で被覆されたSiウエハである。次に、金属メッキ基材を適用した。典型的な基材はDCスパッタリングによるTiの厚さ200 Åの第一層とDCスパッタリングによるNiの厚さ200 Åの第二層とを含む。該基板を、次いで該スパッタリング装置から取り出し、上記接着促進剤APX-K1を3000 rpmにて30分間スピン塗布し、次いで145 °Cでの30秒間のホットプレート焼付けを行った。該接着促進剤の使用は任意であり、多くの用途においては省略することができる。次いで、496KPMMA(9重量%)の層を2000 rpmにて60秒間スピン塗布した。該ウエハを、次に焼付け／アニールサイクル、即ち60 °C/時なる速度で180 °Cまで昇温し、180 °Cにて1時間維持し、次いで60 °C/時にて室温まで温度をさげることからなる焼付け／アニールサイクルに付した。この予備成形したPMMAシート(例えば、1.27cm(1/2インチ)×1.91cm(3/4インチ))を、次に基板の中心部近傍に配置した。マイクロピペットを使用して、10  $\mu$ lのメチルメタクリレートを接着すべき該シートの端部に導入した。毛管作用の結果として、該界面は該メチルメタクリレートで湿潤した。

【0021】次に、この試料をアルミニウム箔で覆い、1.27cm(1/2インチ)の厚さのスチールウール(アルミニウム箔で包まれた)と1kgの重りを使用して軽く荷重を加えた。この試料は少なくとも1時間覆ったままに維持すべきであり、その後該重りおよびアルミニウム箔を取り外し、該試料を通気したウエハボックス(好ましくはN<sub>2</sub>でパージングした)内に保存した。研磨中またはその後の短期間の間に該フィルムが亀裂を形成するのを防止するために、最低8時間該フィルムから上記モノマーを拡散かつ蒸発させるべきである。この8時間の乾燥期間の経過後、該試料を所定の厚みにまで研磨することができた。上記のようにして形成された該PMMAフォトレジストはディープUVおよびX-線両者に対して感受性であり、公知のLIGA法の残りの諸工程に対して相容性であった。この厚いレジスト層は、塩化メチレン中に浸漬することにより除去することができた。

【0022】平坦でない基板上での厚いPMMAレジスト層の調製手順

既存の構造を上部に有する基板に対する例示的方法は以下の通りであった。典型的な基板として、段差約2.5  $\mu$ mの金属構造を有する7.62cm(3インチ)のSiウエハを使

用した。まず、必要により接着促進剤APX-K1を、例えば3000 rpmにて30秒間スピン塗布し、次いで145 °Cにて30秒間ホットプレートにより焼付けた。次に、496KPMMA(9重量%)を、スピン塗布前に10秒間の遅延時間を置いて、2000 rpmにて30秒間スピン塗布した。次に、焼付け／アニールサイクル、即ち60 °C/時にて180 °Cまで昇温し、180 °Cにて1時間維持し、次いで60 °C/時にて室温まで温度をさげることからなる焼付け／アニールサイクルに付した。もう一つの496KPMMA(9重量%)層を、スピン塗布前に10秒間の遅延時間を置いて、2000 rpmにて30秒間スピン塗布した。次いで、上記のような焼付け／アニールサイクルに付した。

【0023】次に、この予備成形したフォトレジストシートを上記の如く496KPMMA層に接着した。1mmの厚さの予備成形フォトレジストシートが市販品として入手でき、容易に取り扱うことができる。上記の如く基板に接着した後、ダイヤモンドまたはCBN(立方晶形窒化ホウ素)工具を備えたフライカッターを使用して、 $\pm 0.1 \mu$ m未満の仕上げ表面を有する所定の厚み( $\pm 2.5 \mu$ m)にまで、該予備成形層を研磨することができた。適当な研磨機の1例はユング／ライヒェルトポリカットEウルトラミラー(Jung/Reichert polycut E ultramiller)である。かくして得られたレジスト層は極めて良好な接着性をもち、かつ極めて低い内部歪をもつものと思われる。この厚いレジストの除去はブランケット露光を必要としなかった。このレジストは線状ポリメチルメタクリレートから作成されているので、その除去は適当な溶媒に溶解することにより達成できた。隣接する繊細な金属構造に損傷を与える可能性のある該レジストの過度の膨潤並びに亀裂形成を防止するために、一般的には該溶媒として塩化メチレンの使用が適当である。200  $\mu$ m～300  $\mu$ mのレジストを鮮明化するために、該試料を200 mlのCH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>に20～30分間浸漬し、次いで更に100 mlのCH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>で清浄化した。最終的な清浄化のために酸素プラズマを使用することも可能である。

【0024】剥離型フォトレジスト構造の調製手順

フォトレジスト、例えばPMMAで作成した自由構造体も本発明に従って製造できる。このような構造体の製造方法を図10～図14に関連して説明する。まず、図10に示したように、この方法を基板41上に薄い犠牲層40を適用することから始めた。この基板は、典型的には平坦な表面をもち、その上に該犠牲層40が形成され、該犠牲層は種々の材料、例えばシリコンウエハ、ガラス、金属または種々のプラスチック材料から作ることができた。この犠牲層用の材料はフォトレジスト用の現像剤の攻撃に対して耐性の任意の様々な材料であり得る。例えば、該フォトレジストがPMMAである場合、該材料でできた犠牲層は典型的なPMMA用の現像剤、例えばモルホリン、2-(2-ブトキシエトキシ)エタノール、エタノールアミン、および水に対して耐性である必要があった。該材料の犠牲層

は、またPMMA等の該フォトレジストを侵食しないリムーバにより選択的に除去されるものである必要があった。PMMAフォトレジストについては、適当な犠牲層の例は希薄なフッ化水素酸により除去できるチタン（該基板にスパッタリングされる）、および部分的にイミド化したポリイミド（これは該基板上にスピン塗布され、このポリイミドに対して適したリムーバは水酸化アンモニウムである）であった。ブリューワーサイエンス(Brewer Science)から入手できる軟質のPIRLポリイミド材料が、上記米国特許第5,190,637号に記載されているように、該犠牲層として利用できた。図10に示した如く、該予備成形した歪をもたないフォトレジストシート、例えば上記の好ましいPMMAシートを、次に層42として上記の方法で該犠牲層40に接着した。この層を上記の如く研磨して、該初期シートの厚み未満の所定の厚みとした。

【0025】図12に示した如く、X-線マスク44はその上に形成されたX-線吸収剤パターン45を有し、シンクロトン放射X-線46からの露光用のパターンを有し、これは該フォトレジストシート42内に露光パターン47を与えた。該露光されたフォトレジストを、次に上記の如く高い選択性をもつ現像剤を使用して現像して、該露光されたフォトレジスト47を除去し、かつ図13に示した例示的構造におけるように、該犠牲層40に接着され、孤立したフォトレジスト構造48を残した。次に、該犠牲層用のリムーバを該基板中の該犠牲層に適用して、該犠牲層40を選択的にエッチングして除去し、かくして該構造48を基板41から自由にした。図14に示された自由部分の例はレンズ状の形状を有し、図14に示した如く、これは本体を有し、該本体はその上表面および底表面に対して実質上垂直な側壁を備えていた。上記方法を利用することにより、これら構造は該本体の上表面および底表面の少なくとも一方が研磨されており、該上表面と底表面との間の該本体の厚みが典型的には約1mm未満であるように作成できた。該フォトレジストとしてPMMAを使用した場合、この方法により形成される構造は、該PMMAが実質上透明な材料である限りにおいて、有用な光学特性をもつことができ、従ってレンズとして使用するのに適していた。勿論、基板から分離することのできる多くの他の型の構造をこの方法で形成することが可能であった。更に、該犠牲層上に残されている該PMMA構造48は相互に接続でき、その中にパターン化された開口を有し、該犠牲層から取り出された場合には他の部品を成形するための鋳型として利用できた。分離されたPMMAシートはその中に形成された所定の寸法の孔を有し、該シートはまたこのようにして形成された該開口を介する所定の流動特性をもつフィルタまたは篩として使用することも可能であった。必要ならば、該初期PMMAシートを架橋して、完成された部品をも架橋されたPMMA製のものとする事もできた。該予備成形したフォトレジストシートは歪をもたないものであるから、該部品48が該犠牲層の除去の際に該

基板から自由にされた場合にも、該部品はその内部に実質上内部歪をもたず、かつ液体状態で基板に適用され硬化により固化されるフォトレジスト材料、例えばPMMAの場合に一般的に見られるような、実質的な機械的変形またはカーリングを生ずることはなかった。

#### 【0026】多層フォトレジスト構造の製造

本発明によれば、2種以上の予備成形フォトレジストシート、もしくは1層の注型層と1種以上の予備成形フォトレジストシートとを含む多層フォトレジスト構造を生成して、所定の幾何形状の三次元金属部品製造用の型として、あるいはそれ自体構造要素として使用することができた。このような構造は本発明に従う上記の手順を利用することにより得られた。かかる多層構造体を得るには、種々の工程順序が可能であった。第一の例示的工程順序においては、図15～図18に示した如く、基板50はその上に形成された露光領域52を有するフォトレジストの層51を有していた。このフォトレジスト層51は上記のように露光しかつ機械加工した予備成形フォトレジストシートで作成できた。しかしながら、必要ならば該初期層51は、例えばPMMAの注型層として公知の様式で形成でき、これを硬化し、架橋し、かつ或るパターンでX-線で露光した。次いで、図15に示された如く、予備成形フォトレジストシート54（例えば、上記のような線状PMMA）を該第一層51に結合し、かつ所定の厚みにまで機械加工した。図17に示した如く、X-線55をあるパターンのX-線吸収物質57を有するX-線マスク56を介して照射して、該第二層54上の領域58を露光した。該領域58は完全に下部領域52内に存在し、従ってこれらの前に露光した領域52のみが該第二層54の露光中にX-線を受けた。また、層51および54の厚み、並びにX-線55の暴露時間の長さおよびその強度は、該マスク56を透過したX-線が完全に該層51および54両者を透過して、該層51および54両者における該マスク56の開口領域下部にある領域を十分に露光するように選択できた。後者の場合は図17に図示されており、そこでは該X-線55は元の露光された領域52を越える該第一層51の付随的領域を露光した。勿論、該マスク56が二次元であることを理解すべきであり、かつ該X-線55から何等X-線露光を受けない該領域52の幾分か領域が存在する可能性があり、またX-線55が該前に露光された領域52を越えて拡がらない該第一の領域51の幾分か領域が存在する可能性がある。

【0027】図17には僅かに2層のみが示されているにすぎないが、上記の工程を所定の層の数だけ繰り返すことができる。即ち、最後の層の露光が完了したら、該露光領域における該フォトレジストを、液状現像剤を適用することにより除去して、空隙領域60を残し、その中に上記の方法に従って金属を電気メッキすることができ、基板50上に積層体を形成する多重層51および54を、次に必要に応じて上記のような方法に従って除去することができる。一般的に、該第二層（または後の層）内の

領域58が該第一層51内の下部の全ての空隙領域52と少なくとも部分的に重なりあって、結果として該現像液が該第一層内の該領域52に到達できるようにすべきである。該露光されたフォトレジスト全体が除去された場合、空隙60は該多重積層体中に残される。該層51および54（並びに付随的な層）の各々は典型的な市販品として入手可能なフォトレジストシートから作成でき、該シートは通常1mm～3mmの範囲内の厚みをもつ、高分子量のX線感受性材料、例えば上記の如きPMMAから形成されたものであった。予備成形シートとフォトレジストシートの下部層との結合は、これら2種の隣接層間の界面を湿潤するメチルメタクリレートを使用した上記のような溶媒による結合により達成できた。しかし、該フォトレジストシートの構造上の保全性を実質的に損なわない他の結合技術も利用可能である。該フォトレジストシートが線状または比較的低分子量のPMMA製である場合、このPMMAモノマーは一般にこれら2種のシートの十分な溶媒結合性を与えた。高度に架橋されたPMMAシートを下部の架橋されたPMMAシートに接着する場合、上記のPMMAシートを一般的な基板に接着する方法を利用できた。例えば、溶媒に溶解した比較的低分子量のPMMA（例えば、496K PMMA）を薄層状にスピン塗布し、かつ硬化することができた。このPMMAモノマーを該低分子量PMMA層に作用させて、該層と高度に架橋されたPMMAシートとの間の溶媒結合を達成することができた。該低分子量PMMA層もX線露光に対して感受性であり、該予備成形PMMAシートと同様にしてパターン化した。

【0028】もう一つの多重層法の順序は図19～図23に示されている。図19に示した如く、予備成形フォトレジストのかなり厚いシート62（例えば、1mm～3mmのPMMAシート）を、X線マスク64上にあるパターンで形成したX線吸収剤65を有する該マスク64を介してX線63で露光した。該マスク64を透過するX線63で露光した領域66は十分なX線で暴露され、結果としてこれらの領域はフォトレジスト用の現像剤に対して感受性となった。しかし、この場合において、該フォトレジストシート62は十分に厚く、そのために該X線で十分に露光されて現像剤に対して感受性となった該領域66は該フォトレジストシート62の全厚みの僅かに部分的にのみ拡がっていた。例えば、該領域66の厚さは僅かに数百μ以下であるが、ここで該シート62全体は1,000μ(1mm)以上の厚みをもつことができた。該予備成形フォトレジストシート62をX線で露光した後、該シートには液状現像剤が適用され、図20に示した如く、該現像剤により該領域66のフォトレジストが除去され、かつ開放領域67が残された。該予備成形シート62を、次に現像された領域70をもつ前に形成されたフォトレジスト層69と接合し、ここで該層69を基板71上に設けた。この層69は上記の種々の方法（例えば、液状PMMAの注型または予備成形フォトレジストの使用）の何れかにより該基板71上に形成できた。この予備

成形フォトレジストシート62を、次いで下部のフォトレジスト層69と整合させ、かつ該層の表面に結合して、該第二の予備成形シート層62中の空隙領域67を該第一層69の空隙領域70と整合させた。その後、図22に記載の如く、該フォトレジストシート62を所定の厚みにまで機械加工した。該所定の厚みは、該シート62の表面上の領域67の高さよりも小さく、該領域67を十分に開き、かつ該第一フォトレジスト層69内の下部領域70との連絡を可能とした。図23に記載の如く、多重積層体を構築するのに必要な回数上記方法を繰り返すことができ、この場合には開放領域74をもつ第三フォトレジスト層73は該第二フォトレジスト層62に結合させた。これら3つの層内の開放領域70、67および74により画成されるこの積層体中の該開口の幾何形状は比較的任意的なものである。これら領域を、次に上記のように電着により金属で満たすことができた。該多重層73、62および69を（例えば、上記のブランケット現像剤で）除去した場合、実質上任意の種々の三次元幾何形状をもち得る該構造71上には金属構造が残された。

【0029】また、図19～図23に記載された工程において、予備成形しかつ現像したシート62は上記の如く任意の他の適当な基板に接着できるものと理解すべきである。即ち、該基板71と第一層69とは、事実上後のフォトレジスト層を接着することの可能な「基板」を含んでいた。この方法は一般的である。例えば、該基板はシリコンウエハ（その上に超小型回路を公知の半導体加工技術で形成した）を含むことができた。この現像されたフォトレジストシート62を該シリコン基板に接着して、その上の回路を覆うことができた。該フォトレジストシート62が、該基板に接着する前に別途X線で露光されているので、該基板のX線露光は不要であり、かつ該基板上の回路の損傷は回避された。この層62は該空隙67を露出するように機械加工され、その下部の該回路の部分へのアクセスを可能とした。例えば、該空隙67は該基板上の集積回路の電気接続パッドと整合するように選択でき、ここで導電性金属は該空隙内に電気メッキされ、これらの導電性パッドとの直立した接続を与えた。必要ならば、該フォトレジストを次に上記のように除去し、あるいは該集積回路上に残して、これを保護することも可能であった。PMMAはこのような目的に対して有利な材料であった。というのは、これが一般に透明であり、かつ該基板上の光学的に活性なデバイスを覆うのに利用できるからである。

【0030】上記工程順の変法において、図24に示した如く、比較的に厚いフォトレジストシート80を、X線マスク82上にパターン状に形成されたX線吸収剤83をもつ該X線マスク82を介してX線81で露光して、該フォトレジストシート80のX線で露光され、かつ現像剤で除去することのできる側に領域85を画成した。しかし、該領域85のフォトレジストを即座に現像剤を適用することにより

除去するよりも、該フォトレジストシートをその露光された側において、X-線で露光されかつ現像剤に対して感受性の領域88を内部にもつ第一のフォトレジスト層87に接着した。該第一層87は図25に示されているように基板89に接着された。かくして図26に示した如く、該第二層80を、そのX-性露光領域85が該層80の自由表面に達し、かつ十分に露出されるような厚さにまで機械的に加工した。所定の層数をもつフォトレジスト積層体を形成するようにこの工程を繰り返すことができた。該所定数の層が得られたら、この全構造を該露光されたフォトレジストの全てを除去する現像剤に暴露した。これを2層構造に対して図27に示したが、ここで該フォトレジストは該第一層87内の領域88から除去され、かつ開放領域90が残され、また該第二層80内の領域85からも該フォトレジストが除去されて、開放領域91が残された。該領域85および88は一般的に相互に接触して、該現像液が該領域88に到達することを可能とする必要があり、あるいはまた該領域88は該積層構造の側端部において露出していて、結果として該現像剤がこの側端部からこれら領域に到達し得る必要があった。一般に、該領域85および88は相互に重なり合って、該現像剤により該露光されたフォトレジストが良好に除去されることが好ましい。図27に示された構造が所定の最終製品ではないが、寧ろ金属構造を生成するための鋳型として使用することが望ましい場合には、該金属を上記の方法で該開放領域90および91内に電気メッキすることができ、また該フォトレジストの層80および87を次に除去して、該基板上に該金属構造を残すことも可能であった。

【0031】上記2通りの工程順の何れかを、基板としてX-線露光領域をもつ予備成形フォトレジストシートを使用して実施することができた。通常の厚み（1～3mm、あるいは必要ならばこれよりも大きくてもよい）の該予備成形フォトレジストシートは十分な強度をもち、かつ十分な構造上の保全性を有しているので、かかるシートを基板として使用し、その上で1以上のフォトレジスト層を形成し、かつこれらを加工することが可能であった。例示的工程順（図19～図23の順序と類似）を図28～図33に示す。しかし、図24～図27の工程順を利用して本質的に同等な方法を実施できることを理解すべきである。該工程順においては、露光されたフォトレジストを、該フォトレジスト層の全てを一緒に接着して積層体とした後に除去した。図28に示したように、比較的厚い予備成形フォトレジストシート100を、X-線マスク102上に或るパターンで形成されたX-線吸収剤103を有する該マスク102を透過するX-線101で露光して、該予備成形シート100中に領域105を形成した。該領域105は現像剤で除去されるように十分にX-線で露光されるが、該領域105は該フォトレジストシート100の厚み全体の僅かに一部分のみに拡がっているに過ぎなかった。このフォトレジストシート100を次に該領域105内の露光され

たフォトレジストを除去する液状現像剤に暴露した。もう一つのフォトレジストシート108を同様な方法でその中に空隙領域109をもつように形成した。これら2種の比較的厚いフォトレジストシート100および108を、次に適当に整合するような方法でその露光された表面にて相互に結合して、結果として該空隙領域106および109が図30に示したように相互に適当に整合させた。この層100を、次いで該領域106が図31に示した如く十分に露出されるような厚みにまで機械的に加工することができた。開放領域111をもつ更なるフォトレジストシート110を全く同様な方法で上記2層100および108上に形成できた。所定数の層を積層体状に形成した後、必要ならば該積層体を次に基板113に結合でき、該基板は図33に記載の如く金属を電着するのに適した表面を有していた。この頂部層としてのフォトレジストシート108を次に該開放領域109を露出して、該領域109、106および111の全てに金属の電着を可能とする厚みにまで機械的に加工できた。

【0032】しかし、フォトレジストの層108、100および110を含む該積層体自体は、電着用鋳型として基板に結合する必要性なしに独立の利用性をもち得る。例えば、該開放領域109、106および111は、圧力センサー、アラームデバイス、水圧または空気圧アクチュエータ等において使用するために該積層体を通して液体またはガスの通過を可能とする多重流体チャンネルを含むことができた。かかる開放領域により形成された該チャンネルは、単に該積層体の露出表面にもう一つのフォトレジスト層を接着することにより、図32の積層構造内で密閉することができた。基本的にはかかる構造は図33に記載されており、そこで該基板113は単に該開放領域111を閉じる目的でのみ機能し得、また必要に応じて予備成形フォトレジストシート、または金属もしくはセラミック材料を包含する種々の材料で作成できた。更に、該開放領域106および109が相互に適当に配置するように適宜接合されかつ整合された場合には、図30の構造が僅かに2種の層で、何れの層を機械加工することなしに多重チャンネル構造を形成することを可能とすることが分かった。以上本発明をPMMAシート、即ちポジ型フォトレジストを使用して上に例示したが、本発明は同様にネガ型フォトレジストを使用して実施することができるものと理解すべきである。該ネガ型フォトレジストにおいて、放射線による露光は該材料を現像剤に対する感受性を低下させる。

【0033】空隙領域またはX-線で露光した領域の何れかをもつ2種以上の別々に形成したフォトレジスト層を該領域が相互に適当に整合されるように結合することは、該各層の適当に正確な整合性を必要とする。一般的に、1μ以下の許容度を維持し得ることが望ましい。比較的厚いフォトレジストの使用は整合用のギャップを大きくするように寄与する。比較的正確な整合および把持



手順が必要とされる。市販品として入手可能な、X-線マスクを光学的に整合させるための装置を用いて、該多重層を整合させることができるが、かかる装置は比較的高価である。種々の露光したフォトリソ層の整合は、各層の露光中に機械的整合構造を形成し、次いでこれら整合構造を各層と後の層との間の機械的な位置合わせを行うのに利用することにより達成できた。例示的整合構造は、該露光領域の対向する側部に比較的大きな（例えば、径1mm）孔（これはフォトリソ材料自体（例えば、PMMA）または金属から作成し得るベグを受容できる）で形成できた。整合は、該後の層を該ベグ上に組み込み、該フォトリソ層を下部の層に接着することにより達成した。かくして、自己整合が達成された。というのは、該整合用の孔が該層の所定のパターンとして同時に露光され、その結果該整合許容度がアセンブリの許容度により支配されるからである。

【0034】この整合手順は図34～図41に記載されている。図34を参照すると、基板120は（任意の方法で）その上に形成されたフォトリソ第一層121をもつように図示されており、該第一層121には整合用の開口122（例えば、円筒状の開口）および所定の構造の開口を構成する空隙領域123を形成した。該開口122および123を形成するために実施する露光並びにマスキング工程は上記した通りであり、従って該開口122および123は同時に形成され、かくして該開口123に対する該開口122の相対的位置が正確に制御できた。該構造120は必要に応じて金属メッキ基材をもつことができる。次いで、整合用ベグ125を図35に示した如く該開口122に挿入した。これらのベグは種々の技術により金属から形成でき（これらは比較的大きな径、例えば1mmをもつ）、あるいは該ベグは図12～図14に関連して上記したような方法で自由構造として形成できるフォトリソ材料、例えばPMMAから作成することができた。予備成形シートの第二層131を次に図36に示した如く形成した。これは整合用の開口132および構造空隙領域133を有し、該空隙領域は比較的に厚いフォトリソシート（例えば、厚み1mmのPMMAフィルム）内に部分的に伸びているが、完全にこれを貫通する必要はない。該第一層122の露出表面上に突出している該ベグ125部分を該第二層131の該整合用開口132内に挿入することにより、この第二のフォトリソシート層131を該第一シートに対して整合させた。再度、該構造空隙領域133に対する該整合用の開口132の相対的な位置の調節により、該構造領域133と該第一層121中の該構造空隙領域とを適当な整合状態とすることが保証された。

【0035】図38に示した如く、該フォトリソシート131を次に、該空隙領域133および該整合用の開口132が十分に露出されるような厚みにまで機械的に加工することができた。しかし、該第二層131の厚みの低下は、好ましくは該ベグ125が露出されるような厚みにま

で減じるべきではない。寧ろ、図38に示されたように、各整合用の開口132の部分は開放状態に維持された。これらの整合用の開口132の残りの部分には、図39に示した如く第二の組のベグ135を挿入した。次に、図40に示した如く、フォトリソシートの第三層を整合し、搭載し、かつ該第二層131と同様に機械加工により厚みを減じて、3層をもつ積層体を形成することができた。これにより、該第三層内の構造空隙領域143は該第二層131内の構造空隙領域133並びに該第一層121内の構造空隙領域123と適当な整合状態とされた。次いで、第三の組のベグ145を上記と同様な方法で該第三層141中に形成された整合用の開放孔に挿入し、更なる層を同様な方法で付加できた。所定数の層を積層体状に作成した後、必要に応じて金属を該構造空隙領域に電着できた。これは図41に記載されており、そこでは電気メッキされた金属片150が形成され、該片は3つの部分151、152および153を有し、これらはそれぞれ上記層121、131および141の構造空隙領域に対応する。該積層体に残された該整合用のベグ125および135がフォトリソから作成される場合、これらも上記フォトリソ材料121、131および141と同様な方法で除去できる。これらのベグが金属製である場合、これらは一般的に該周辺のフォトリソ層が除去される場合に該基板から剥離される。

【0036】また、該第一段階の該整合用ベグ125を金属から作成し、永続的に該基板に接着することができた。次いで、完全に自由な金属あるいはフォトリソ（例えば、PMMA）構造が必要な場合に、この基板は多数回に渡り使用できた。かかる金属ベグを使用する場合、該第一のPMMA層を露光し、かつ別々に現像し、次いで該ベグ125を該層内に形成した整合用孔に挿入することにより、適当な整合状態となるように該基板表面に接着することができた。同様に、該積層体の形成後に該フォトリソ層内の露光領域の現像を実施する上記方法の変法を利用することも可能である。この方法は部分的に現像して、該整合用孔の位置における露光された該PMMAのみを、例えば注意して該PMMA層をマスキングすることにより除去することができる。また、該フォトリソシートはその中に整合用孔を機械加工により形成し、次いで該フォトリソシート中に機械加工により形成された該孔に整合されるX-線マスクを介してX-線で露光することもできる。上記手順を利用して、 $\pm 1\mu$ 以下の整合許容度を達成し、一方でこれら種々の層の整合に要する時間を節減する。本発明は例示の目的で本明細書に記載した特定の態様により制限されず、上記の特許請求の範囲に入るような全ての改良をも包含するものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】 上部に形成された既存のマクロメカニカル構造をもつ基板の簡略化した例示的な側面図である。

【図2】 上部にフォトリソの被膜を有する図1に

示した基板を示す図である。

【図 3】 フォトレジストの該初期層の上部にフォトレジストの予備成形したシートを付加した、図 2 に記載の基板を示す図である。

【図 4】 フォトレジストの該予備成形シートと該初期層との間の界面へのモノマーの適用を、該予備成形したシートを下層に押圧する荷重のかけられた状態で示した、図 3 に記載の基板を示す図である。

【図 5】 該予備成形したシートを所定の厚みにまで研磨した後の図 4 に記載の基板を示した図である。

【図 6】 X-線マスクを介してX-線で露光した該フォトレジストおよび基板を示す模式的図である。

【図 7】 該露光したフォトレジストを現像した後の図 6 に記載の該フォトレジストおよび基板を示す模式的図である。

【図 8】 該フォトレジストを除去した領域に金属を電気メッキした後の、図 7 に記載の基板を模式的に示した図である。

【図 9】 上部に形成されたマイクロメカニカル部品を備えた基板の、残留フォトレジストを回基板から剥離した後の模式的な図である。

【図 10】 上部に形成した犠牲層を有する基板の簡略化した模式的な側面図である。

【図 11】 該犠牲層および結果として該基板に接着された歪をもたないフォトレジストシートを備えた図 10 に記載の基板を示す図である。

【図 12】 X-線マスクを介してX-線で露光した図 11 に記載の該フォトレジストおよび基板を示す模式的図である。

【図 13】 該露光したフォトレジストを現像した後の図 12 に記載の該フォトレジストおよび基板を示す模式的図である。

【図 14】 本発明に従って形成することのできる、フォトレジスト材料製の例示的自由部分の斜視図である。

【図 15】 露光され、かつ機械加工されているが、未だ現像されていない露光領域をもつ予備成形されたフォトレジストシートを有する基板の模式的側面図である。

【図 16】 第二の予備成形フォトレジスト層を該第一層上に結合し、所定の厚みにまで機械加工した後の図 15 に記載の該基板の模式的図である。

【図 17】 X-線マスクを介してX-線で露光した図 16 に記載の該フォトレジストおよび基板を示す模式的図である。

【図 18】 該露光したフォトレジストを現像した後の図 17 に記載の該フォトレジストおよび基板を示す模式的図である。

【図 19】 X-線マスクを介してX-線で露光した比較的厚いフォトレジストの予備成形シートを示す模式的な側面図である。

【図 20】 フォトレジストを露光し、該露光したフォ

トレジストを現像した後の、基板上の前に現像されたフォトレジストシートと露光表面とが結合されるように配置された、図 19 に記載のフォトレジストシートを模式的に示す図である。

【図 21】 該 2 種のフォトレジスト層中の現像された領域と整合するようにフォトレジストの下層に結合した自由なフォトレジストシートを模式的に示した図である。

【図 22】 該第二のフォトレジストシート中の現像領域全てが露出するような厚みにまで上部層を機械加工した後の図 21 に記載の基板およびフォトレジスト層を模式的に示した図である。

【図 23】 図 19～22 において既に例示したものと同様な方法で形成できるフォトレジストの第三層を付加した、図 22 に記載の基板およびフォトレジスト層を模式的に示した図である。

【図 24】 X-線マスクを介してX-線で露光した比較的厚い予備成形フォトレジストシートを示す模式的な側面図である。

【図 25】 基板上の露光されたが現像されていないフォトレジスト層に結合された、図 24 に記載の露光されたが現像されていないフォトレジストシートを模式的に示した側面図である。

【図 26】 フォトレジストの上部層中の完全に露光されたフォトレジスト領域全てが露出されるような厚みにまで、該フォトレジストの上部層を機械加工した後の、図 25 に記載の基板およびフォトレジスト層を模式的に示した側面図である。

【図 27】 該露光したフォトレジストを現像し、かつ除去した後の、図 26 に記載のフォトレジスト層をもつ基板を模式的に示した図である。

【図 28】 X-線マスクを介してX-線で露光した比較的厚い予備成形フォトレジストシートを示す模式的な側面図である。

【図 29】 図 28 に示された方法でX-線で露光され、かつ該露光されたフォトレジストを除去すべく現像されている 2 種の比較的厚い予備成形フォトレジストシートを模式的に示した図である。

【図 30】 露出した表面において一緒に結合された、図 29 に記載の予備成形され、露光され、かつ現像されたフォトレジストシートの 2 種の層を模式的に示した図である。

【図 31】 上部層を、該上部フォトレジスト層の現像された領域を完全に露出するような厚みにまで機械加工した後の、図 30 に記載のフォトレジスト層を模式的に示した図である。

【図 32】 図 28～31 に関連して既に例示した方法で形成されるもう一つの追加のフォトレジスト層を備えた、図 31 に記載のフォトレジスト層を模式的に示した図である。



29

【図 3 3】 基板に結合された上部層の自由表面を有する、該厚いフォトレジスト層を機械加工する前の、図 3 2 に記載の多層フォトレジスト積層体を模式的に示した図である。

【図 3 4】 フォトレジスト層での整合用の孔の形成を説明するための、基板上の該フォトレジスト層の部分を模式的に示した図である。

【図 3 5】 該整合用の孔に挿入された整合用ベグをもつ、図 3 4 に記載のフォトレジスト構造を有する基板を模式的に示した図である。

【図 3 6】 一方の表面を X-線 で露光し、かつ現像して種々の領域における露光されたフォトレジストを除去し、整合用の孔を形成するように寸法調整し、かつ配置した領域を含む比較的厚い予備成形したフォトレジストシートを模式的に示した側面図である。

【図 3 7】 該予備成形フォトレジストシートの該整合用孔に整合用ベグを挿入することにより、図 3 5 に示された構造と整合された図 3 6 に記載の予備成形フォトレジストシートを模式的に示した図である。

【図 3 8】 上部層内の該整合用孔および該他の露光された領域を露出するような厚みにまで該上部フォトレジスト層を機械加工した後の、図 3 7 に記載の基板およびフォトレジスト層を模式的に示した図である。

【図 3 9】 図 3 8 の該フォトレジストシートの上部層内に残された該整合用孔への追加の整合用ベグの挿入を模式的に説明するための図である。

【図 4 0】 フォトレジストシートの上部層および上記のような方法により形成される第三の組の整合用ベグを付加した、図 3 9 に示した構造体の模式的な図である。

【図 4 1】 図 4 0 に示した構造体の該多重フォトレジスト層内に残された開放領域に電気メッキした金属を有する、図 4 0 に記載の該構造体を模式的に示した図である。

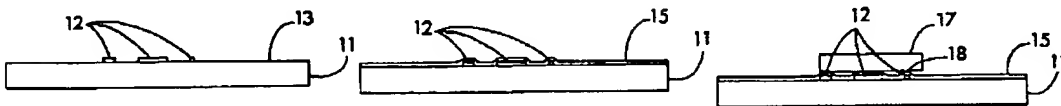
# 【符号の説明】

11、41、50、71、89、113、120・・・基板  
13・・・金属メッキ基材  
17、54、100・・・予備成形フォトレジストシート  
20・・・アルミニウム箔  
21・・・スチールウール  
22・・・重り  
24、46、55、63、81、101・・・X-線スク  
25、44、56、64、82、102・・・X-線吸収剤  
26、45、57、65、83、103・・・X-線開口  
29・・・開口  
30・・・金属構造  
40・・・犠牲層  
51・・・フォトレジスト層  
52・・・露出領域  
60、106、109、123、133、143・・・空隙領域  
62・・・予備成形フォトレジスト  
67、74、90、91、111・・・開放領域  
70・・・現像領域  
73、141・・・第三フォトレジスト層  
80、108、110、131・・・フォトレジストシート  
87、121・・・第一フォトレジスト層  
122、132・・・整合用開口  
125・・・ベグ  
135・・・整合用ベグ  
145・・・第三の組のベグ

【図 1】

【図 2】

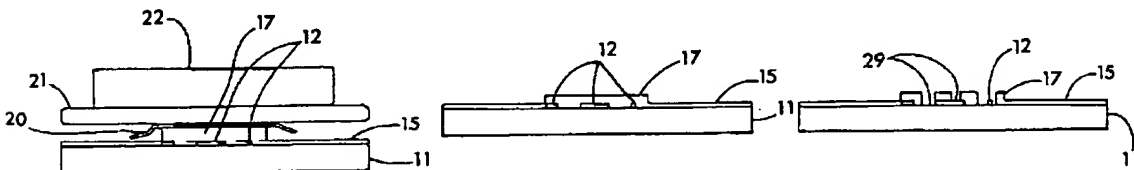
【図 3】



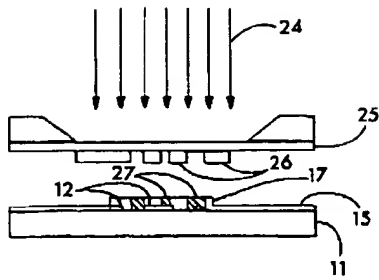
【図 4】

【図 5】

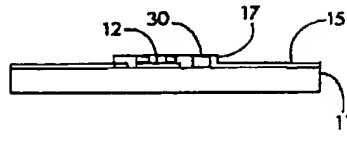
【図 7】



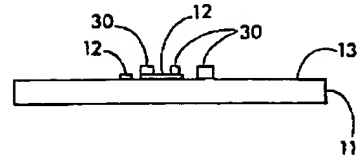
【図6】



【図8】

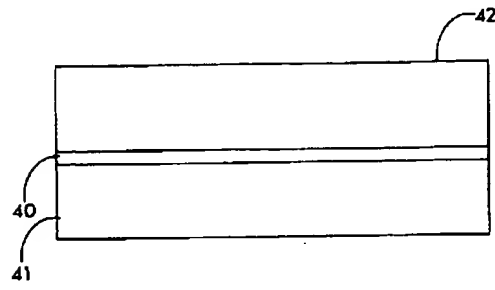
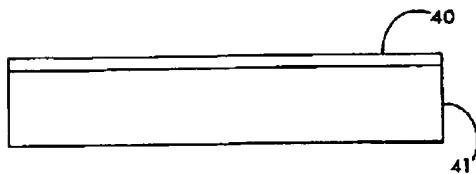


【図9】

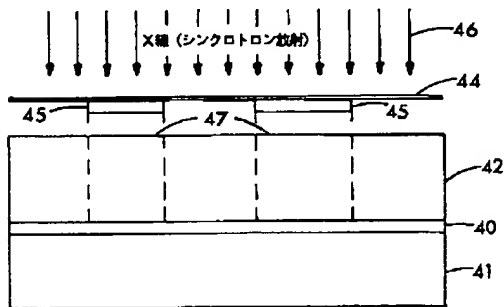


【図11】

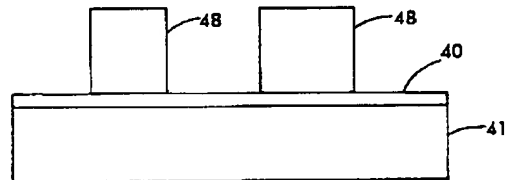
【図10】



【図12】

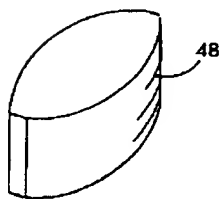


【図13】

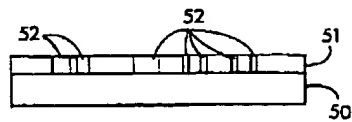


【図16】

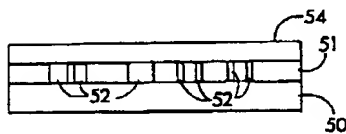
【図14】



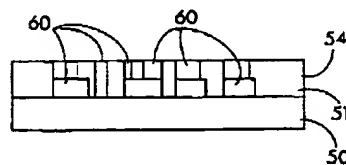
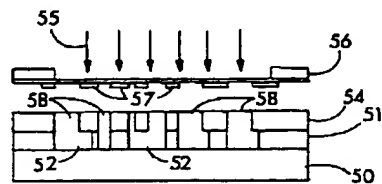
【図15】



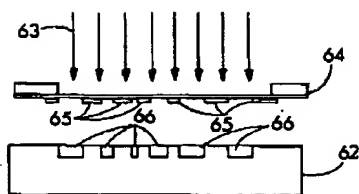
【図18】



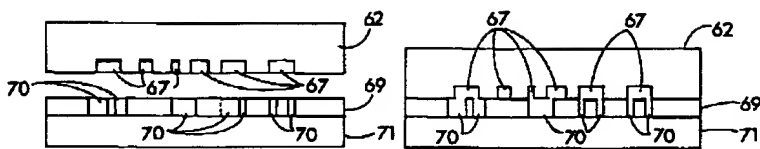
【図17】



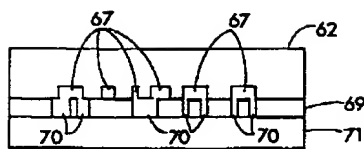
【図19】



【図20】

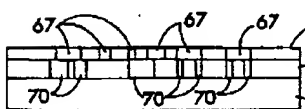


【図21】

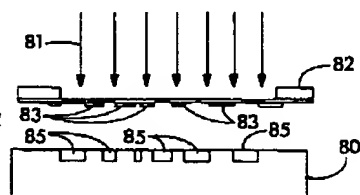
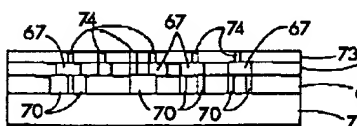


【図24】

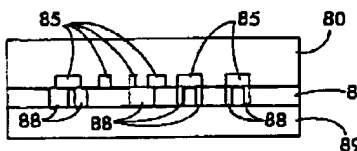
【図22】



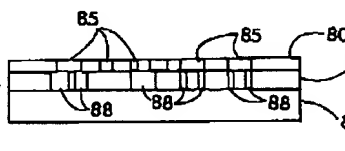
【図23】



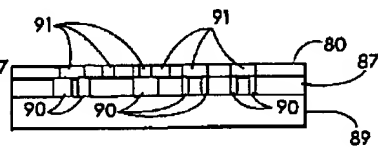
【図25】



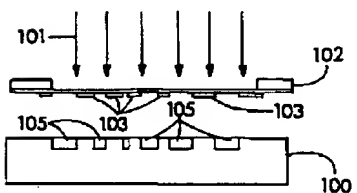
【図26】



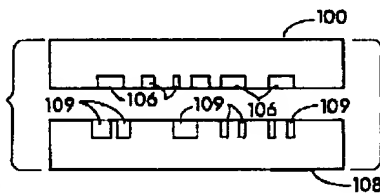
【図27】



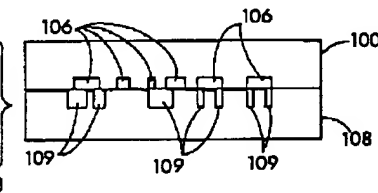
【図28】



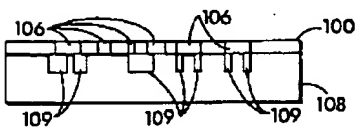
【図29】



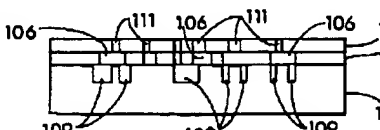
【図30】



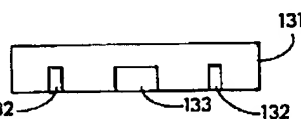
【図31】



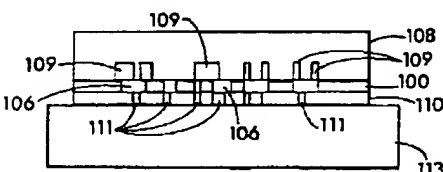
【図32】



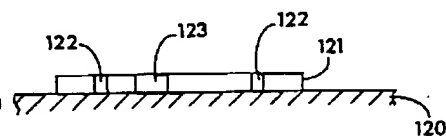
【図36】



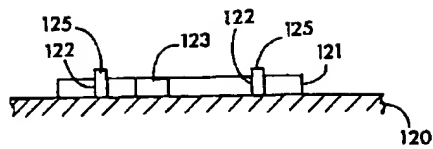
【図33】



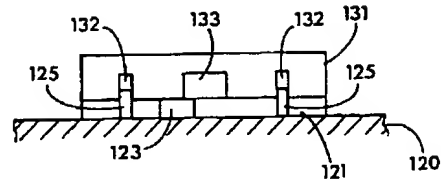
【図34】



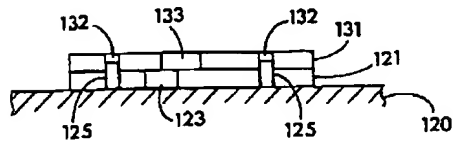
【図35】



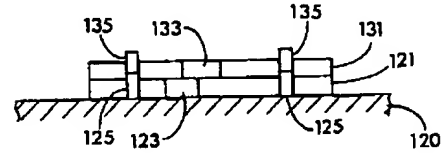
【図37】



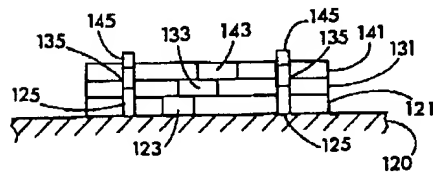
【図38】



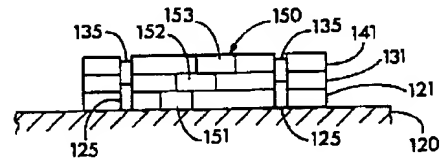
【図39】



【図40】



【図41】



フロントページの続き

(51)Int. Cl. 6

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 21/027

// G 0 3 F 7/027

5 0 2

H 0 5 K 3/18

D 7511-4E

(72)発明者 トッド アール クリステンソン  
アメリカ合衆国 ウィスコンシン州  
53715 マディソン セント ジェームズ  
コート 1320

(72)発明者 ケニス スコロビス  
アメリカ合衆国 ウィスコンシン州  
53713 マディソン カタルパ サークル  
1130